

RAFAŁ UNRUG

SPOSTRZEŻENIA NAD SEDYMENTACJĄ WARSTW LGOCKICH

(Tabl. XVIII — XXI i 10 fig.)

*On the sedimentation of the Lgota beds (Bielsko area, Western
Carpathians)*

(Pl. XVIII — XXI and 10 Fig.)

Streszczenie. Autor opisuje obserwacje nad sedymentacją warstw lgockich zebrane w kamieniołomie w Kozach koło Bielska, w którym odsłonięty jest prawie całkowity profil tej serii. Podana jest częstość występowania różnych typów warstwowań oraz dane o uziarnieniu piaskowców. Autor opisuje erozyjne rozmycia ławic piaskowcowych, nieerozyjne zgrubienia ławic, ławice o strukturze osuwiskowej oraz niewielkie soczewkowate ławice zbudowane z gruboziarnistego piaskowca. Podana jest próba wyjaśnienia mechanizmu powstawania uwarstwienia laminowanego piaskowców.

WSTĘP

Warstwy lgockie stanowią serię drobnoziarnistych i cienkoławicowych piaskowców oraz łupków, szeroko rozprzestrzenioną w facji ślaskiej fliszu karpackiego. Zostały one wydzielone po raz pierwszy przez Paula i Tietzego (1887) w Karpatach Zachodnich, a wiek ich określono (Liebus i Uhlig 1902, Nowak 1927) jako alb dolny. Po między dolinami rzek: Białej i Soły wychodnie warstw lgockich ciągną się wąskim pasem u czoła płaszczowiny godulskiej, budując najstromejszą część progu, jakim Beskid Mały wznosi się ponad Pogórzem Cieszyńskim (fig. 2). Na obszarze tym znajduje się jedno z najlepszych odsłonień warstw lgockich, w których obserwować można niemal całą serię od spągu aż do stropu. Jest to kamieniołom w Kozach koło Bielska.

Zebrane w tym kamieniołomie obserwacje dotyczące sedymentacji warstw lgockich stanowią temat niniejszej pracy. Wewnętrzne struktury ławic piaskowcowych są w tych warstwach bardzo wyraziste dzięki zmianom barwy skały wywołanym procesami wietrzenia. Dlatego też war-

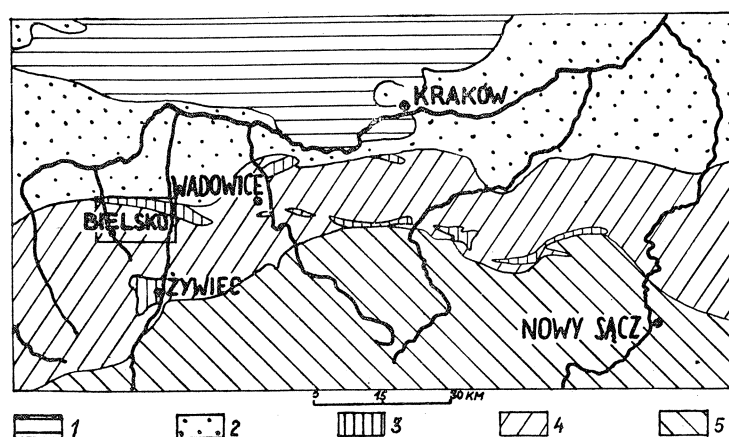


Fig. 1. Mapa tektoniczna zachodnich Karpat fliszowych. 1 — mezozoik Wyżyny Śląsko-Krakowskiej; 2 — miocen; 3 — płaszczowina podśląska; 4 — płaszczowina śląska; 5 — płaszczowina magurska; ramką zaznaczony obszar mapki na fig. 2
Fig. 1. Tectonic Map of Western Flysch Carpathians. 1 — Mesozoic of the Cracow Upland; 2 — Miocene; 3 — Sub-Silesian nappe; 4 — Silesian nappe; 5 — Magura nappe

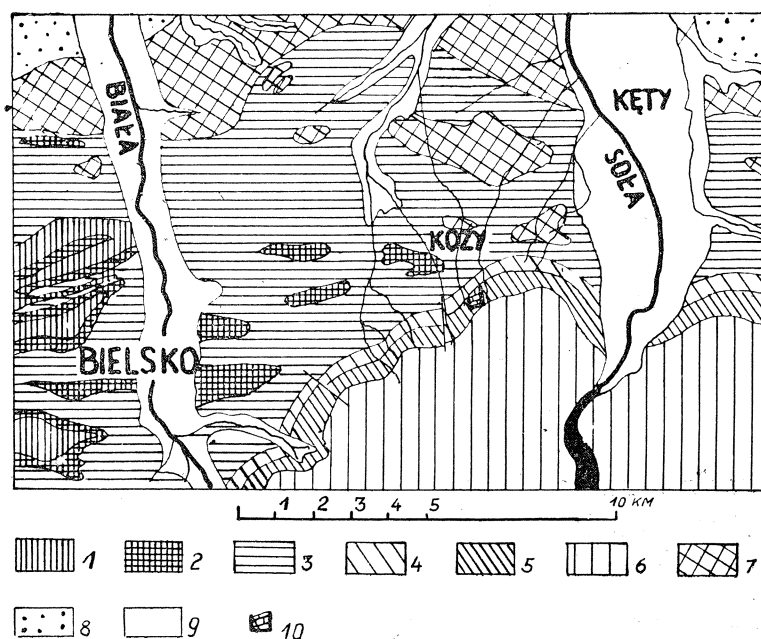


Fig. 2. Mapa geologiczna obszaru pomiędzy dolinami rzek Białej i Soły. 1 — dolne łupki cieszyńskie; 2 — wapień cieszyński; 3 — górne łupki cieszyńskie; 4 — warstwy wierzowskie; 5 — warstwy lgockie; 6 — warstwy godulskie; 7 — płaszczowina podśląska; 8 — miocen; 9 — aluwia; 10 — kamieniołom w Kozach; 1—3 — płaszczowina cieszyńska, 4—6 — płaszczowina godulska
Fig. 2. Geological Map of the area situated between the valleys of Soła and Biała Rivers. 1 — Lower Cieszyn shales (Infravalanginian); 2 — Cieszyn limestones (Infravalanginian); 3 — Upper Cieszyn shales (Valanginian); 4 — Verovice shales (Barremian); 5 — Lgota Beds (Aptian — Lower Albanian); 6 — Godula Beds (Albanian — Cenomanian — Turonian); 7 — Sub-Silesian nappe; 8 — Miocene; 9 — Alluvia; 10 — The quarry at Kozy; 1—3 — Cieszyn nappe, 4—6 — Godula nappe

stwy lgockie stanowią szczególnie wdzięczny materiał dla badań sedimentologicznych, zwłaszcza dla studiów nad genezą laminacji, która jest charakterystycznym typem uwarstwienia piaskowców lgockich.

Praca została wykonana w Zakładzie Geologii UJ. Badania terenowe były częściowo finansowane przez Pracownię Geologiczno-Stratygraficzną PAN w Krakowie. Przy pracach kameralnych wykorzystano szlify mikroskopowe piaskowców wykonane w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na zlecenie Katedry Żył Surowców Skalnych. Jest moim miłym obowiązkiem złożyć podziękowanie prof. drowi M. Książkiewiczowi za cenne uwagi i wskazówki w czasie opracowywania tematu, prof. drowi W. Krachowi za pomoc finansową w badaniach terenowych oraz prof. drowi M. Kamińskiemu za umożliwienie wykorzystania szlifów mikroskopowych piaskowców.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PROFILU WARSTW LGOCKICH W KOZACH

W profilu odsłoniętym w kamieniołomie w Kozach warstwy lgockie wykształcone są w postaci cienkoławicowych piaskowców przekładających się z czarnymi lub zielonawymi pelitycznymi łupkami. Piaskowce są najczęściej drobnoziarniste i mają barwę czarną¹. Rzadsze znacznie ławice piaskowca średnioziarnistego mają niebieskoszarą barwę. Miąższość ławic piaskowców zmienia się w granicach od 0,5 cm do 65 cm. Miąższość łupków przedzielających ławice piaskowcowe wynosi od 0,5 cm do 120 cm. Stosunek miąższości piaskowców do łupków wynosi w przybliżeniu 1 : 1.

Miąższość warstw lgockich w profilu kamieniołomu w Kozach wynosi około 220 m. W wyrobisku kamieniołomu odsłonięty jest kompleks miąższości około 150 m. Kompleks ten można podzielić na trzy części na podstawie wykształcenia litologicznego (Konior 1938). Dolna część profilu posiadająca miąższość około 25 m leży na łupkach wierzowskich, odsłoniętych przy fundamentach budynku sortowni kamieniołomu. Warstwy lgockie zaczynają się kilkoma ławicami średnioziarnistego piaskowca niewyraźnie laminowanego. Wyżej leży seria głównie łupkowa, zawierająca cienkie, nieciągłe i nieregularnej miąższości ławice gruboziarnistego piaskowca. Miąższość jej wynosi około 10 m. Dolną część profilu warstw lgockich kończy dziesięciometrowej miąższości seria cienkoławicowych drobnoziarnistych piaskowców o uwarstwieniu laminowanym, przekładających się w stosunku 1 : 1 z łupkami.

Część środkowa profilu mierzy około 100 metrów miąższości i cechuje ją nieznaczna przewaga ilości piaskowców nad ilością łupków. Ławice piaskowcowe są tu grubsze, osiągając nierzadko pół metra miąższości. Przeważa tu uwarstwienie laminowane piaskowców, często też pojawia się uwarstwienie frakcjonalne lub złożone. Ławice warstwowane frakcjonalnie są średnioziarniste i posiadają jaśniejszą, niebieskoszarą barwę. W tej części profilu występuje ławica o strukturze osuwiskowej oraz kilka ciekawych ławic soczewkowatych, które będą opisane w dalszej części

¹ Ciemne zabarwienie piaskowców i ich brunatny kolor po zwietrzeniu spowodowany jest obecnością pirytu, który występuje w skale w ilości około 0,9% objętości i koncentruje się w laminach ciemnych.

pracy. Niektóre z tych ławic są zbudowane z drobnoziarnistego materiału zlepieńcowatego.

Górna część kompleksu warstw lgockich odsłoniętego w kamieniołomie liczy około 45 m miąższości. Występują tutaj cienkoławicowe laminowane piaskowce przekładające się z łupkami w stosunku 1:1. W części tej dominuje uwarstwienie laminowane, natomiast uwarstwienie frakcjonalne pojawia się znacznie rzadziej niż w środkowej części profilu.

Warstwy lgockie wykazują szereg cech pozwalających przypisać ich powstanie sedymentacji materiału transportowanego przez prądy zawieszinowe. Cechami tymi są (K u e n e n i C a r o z z i 1953):

- ostre i wyraźne granice między ławicami piaskowca a podścielającymi je łupkami,

- regularność warstwowania i stałość charakteru poszczególnych ławic na przestrzeni odsłonięcia,

- występowanie warstwowania frakcjonalnego, laminowanego, rzadziej przekątnego,

- występowanie warstwowania konwolutnego i spływowego,

- występowanie ławic o strukturze osuwiskowej,

- obecność hieroglifów prądowych, śladów wleczenia oraz hieroglifów obciążeniowych.

Materiał detrytyczny budujący ławice piaskowcowe transportowany był z zachodu. Hieroglify prądowe mają najczęściej azymut 110° wskazując na kierunek transportu z zachodu na wschód. Odchylenia od tego dominującego kierunku transportu nie przekraczają 20° . Również wśród śladów wleczenia przeważa kierunek 110° , dalszymi wskaźnikami kierunku transportu są: pochył lamin w warstwowaniu przekątnym, oraz pochył elementów antyklinalnych w warstwowaniu konwolutnym (t e n H a a f 1956). Oba wskazują na kierunek transportu z zachodu na wschód.

TYPY WARSTWOWANIA

Piaskowce warstw lgockich posiadają wielkie bogactwo typów warstwowania. Częstość poszczególnych typów warstwowania i odpowiadające im miąższości ławic zestawione są w tabeli 1 na podstawie obserwacji 450 ławic piaskowcowych.

Najczęstszym typem warstwowania jest warstwowanie laminowane, które posiada 71% zbadanych ławic. Miąższość ławic laminowanych zmienia się w szerokich granicach, średnia miąższość jest jednak niewielka i wynosi 12,4 cm. Na drugim miejscu co do częstości występowania stoi warstwowanie złożone z warstwowania laminowanego poziomo i przekątnie. Możliwe są tutaj różne kombinacje, które sprowadzić można do trzech typów (K s i ą ż k i e w i c z 1947, 1952): ławica zaczynać się może partią laminowaną poziomo, a kończyć laminacją przekątną bądź też sytuacja może być odwrotna: spąg ławicy jest laminowany przekątnie, a część stropowa poziomo. Wreszcie partie o laminacji przekątnej i poziomej mogą powtarzać się wielokrotnie w ławicy. Miąższość takich ła-

Tabela 1

Typ warstwowania	Częstość występowania	Miąższość w cm		
		średnia	maksimum	minimum
laminowane	71,0 %	12,4	65,0	0,5
złożone z warstwowania laminowanego poziomo i przekątnie	18,6 %	8,4	45,0	2,0
przekątnie laminowane	2,55 %	2,4	4,0	1,0
frakcjonalne	2,55 %	13,2	50,0	2,0
złożone z warstwowania frakcjonalnego, laminowanego poziomo i przekątnie	5,3 %	21,7	60,0	7,0

wic zmienia się w szerokich granicach, natomiast średnia miąższość jest mniejsza niż w przypadku ławic laminowanych i wynosi 8,4 cm. W strobie opisanych dwóch typów ławic występuje niekiedy warstwowanie konwolutne odznaczające się intensywnymi zaburzeniami lamin przy zachowaniu ich ciągłości (tabl. XXI, fig. 4) lub warstwowanie spływowe, w którym laminy są poprzerywane, a poszczególne ich pakiety silnie pofałdowane i ponasuwane na siebie (tabl. XXI, fig. 5).

Ławice wykazujące tylko warstwowanie przekątnie laminowane są rzadkie (2,55%). Nadto ten typ warstwowania ograniczony jest do ławic bardzo cienkich.

Ławice o warstwowaniu frakcjonalnym również nie występują często. Najczęstszym typem jest tu warstwowanie frakcjonalne jednokrotne, rzadziej występuje warstwowanie frakcjonalne dwukrotne lub pensymetryczne (Książkiewicz 1952). Miąższość ławic frakcjonalnie warstwowanych zmienia się w granicach od 2 cm do 50 cm, a średnia miąższość wynosi 13,2 cm.

Częściej występuje warstwowanie złożone z warstwowania frakcjonalnego, laminowanego i przekątnie laminowanego. Posiada je 5,3% ławic. Najczęściej jest to warstwowanie złożone normalne, w którym dolna część ławicy jest warstwowana frakcjonalnie, a górna wykazuje laminację. Różne kombinacje warstwowania frakcjonalnego, laminowanego i przekątnie laminowanego występują znacznie rzadziej. Z reguły jednak dolna część ławicy ma warstwowanie frakcjonalne, a różnice istnieją w kolejności układu i ilości partii horyzontalnie i przekątnie laminowanych. W jednym przypadku obserwowałem warstwowanie złożone symetryczne, w którym dolna i górna część ławicy są laminowane, a część środkowa wykazuje warstwowanie frakcjonalne. Ławice o warstwowaniu złożonym są grubsze od ławic posiadających inne typy warstwowania. Miąższość ich zmienia się w granicach od 7 cm do 60 cm, średnia miąższość wynosi natomiast 21,7 cm.

Różnice średniej miąższości ławic wykazujących różne typy warstwowania są bardzo znamienne. Wskazują one na to, że działające w prądzie zawiesinowym różne mechanizmy sedymentacji, produkujące różne typy warstwowania, nie są jednakowo „wydajne”, lecz osadzają materiał klastyczny z różną szybkością. Porównanie „wydajności” różnych mechanizmów sedymentacji, z których jeden wytwarza warstwowanie frakcjono-

nalne, a drugi warstwowanie laminowane, możliwie jest w jednym profilu serii, w którym mamy osady złożone przez prądy zawieszinowe nie różniące się zbyt silną siłą i ilością transportowanego materiału. Miara efektywności różnych mechanizmów sedymentacji jest średnia miąższość ławic wykazujących dany typ warstwowania. W przypadku profilu warstw lgockich w Kozach za najbardziej efektywny uznać trzeba mechanizm sedymentacji dający warstwowanie frakcjonalne. Drugie miejsce zajmuje mechanizm sedymentacji tworzący warstwowanie laminowane. Ławice o uwarstwieniu złożonym z warstwowania frakcjonalnego i laminowanego zostały utworzone przypuszczalnie przy udziale dwóch mechanizmów sedymentacji. Nic więc dziwnego, że ich średnia miąższość jest znacznie większa niż miąższość tych ławic, które powstały przy udziale tylko jednego mechanizmu sedymentacji¹.

Szczególną uwagę zwraca fakt, że obecność warstwowania przekątnie laminowanego wiąże się z niewielką miąższością ławic. Średnia miąższość ławic przekątnie laminowanych wynosi tylko 2,4 cm i jest najmniejsza ze średnich miąższości dla poszczególnych typów warstwowania. Ławice o warstwowaniu złożonym z laminacji przekątnej i poziomej są cieńsze niż ławice posiadające tylko poziomą laminację. Odpowiednie średnie miąższości wynoszą 8,4 cm i 12,4 cm. Do sprawy wyjaśnienia tego zjawiska oraz do stosunku warstwowania przekątnie laminowanego do laminowanego powrócę jeszcze w dalszej części pracy.

UZIARNIENIE PIASKOWCÓW

Badanie składu ziarnowego piaskowców warstw lgockich jest bardzo utrudnione wskutek silnej ich sytyfikacji. Stosowanie normalnej metody — rozkruszenia piaskowców i analizy sitowej — jest niemożliwe. Z tego względu skład ziarnowy piaskowców został określony na podstawie obserwacji mikroskopowych płytek cienkich. Przy użyciu pryzmatycznego mikropojektora wykonywano rysunki 300 ziarn z każdej płytki cienkiej, następnie mierzono ich średnice i zestawiano ilości ziarn w poszczególnych klasach wielkości. Tak uzyskany obraz odbiega jednak znacznie od rzeczywistego rozkładu wielkości ziarn, gdyż płaszczyzna szlifu nie zawsze przecina ziarno w płaszczyźnie jego największego przekroju. Stąd przy określaniu składu ziarnowego piaskowca z płytki cienkiej otrzymuje się przesunięcie krzywej składu ziarnowego w stronę drobnego ziarna. Dla uzyskania prawdziwego rozkładu wielkości ziarn należy uzyskane wychody w poszczególnych frakcjach pomnożyć przez odpowiednie współczynniki według metody opracowanej przez Greenmana (1951). Podkreślić należy, że wychody poszczególnych frakcji podane są nie w procentach wagowych jak przy analizie sitowej, lecz

¹ Podobne stosunki średniej miąższości ławic o różnych typach warstwowania zostały zaobserwowane we fliszu podhalańskim przez A. Radomskiego (1958) (praca ta ukazała się po oddaniu do druku niniejszego artykułu). Częstość poszczególnych typów warstwowania jest we fliszu podhalańskim również bardzo zbliżona do częstości obserwowanej w warstwach lgockich w Kozach. Wskazuje to na podobne warunki sedymentacji obu tych serii i na zbliżony stosunek wydajności różnych mechanizmów sedymentacji produkujących różne typy warstwowania.

w procentach ilościowych. Nadto, jak wykazały studia porównawcze (Rosenfeld, Jacobsen, Ferm 1953), wyniki analizy składu ziarnowego na podstawie płytek cienkich nie są porównywalne z wynikami analizy sitowej, nawet po wprowadzeniu poprawek według metody Greenmana.

Fig. 3. Krzywe składu ziarnowego. Ławice warstwowe frakcjonalnie
Fig. 3. Mechanical composition of graded sandstones

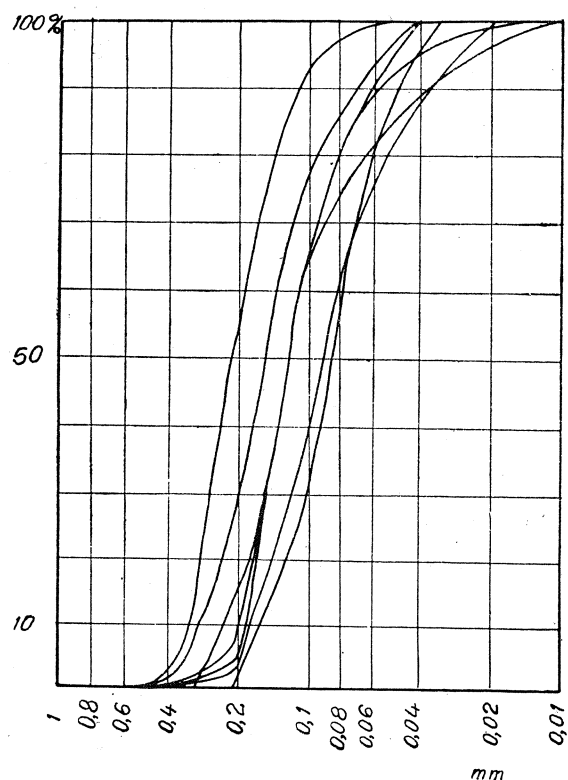
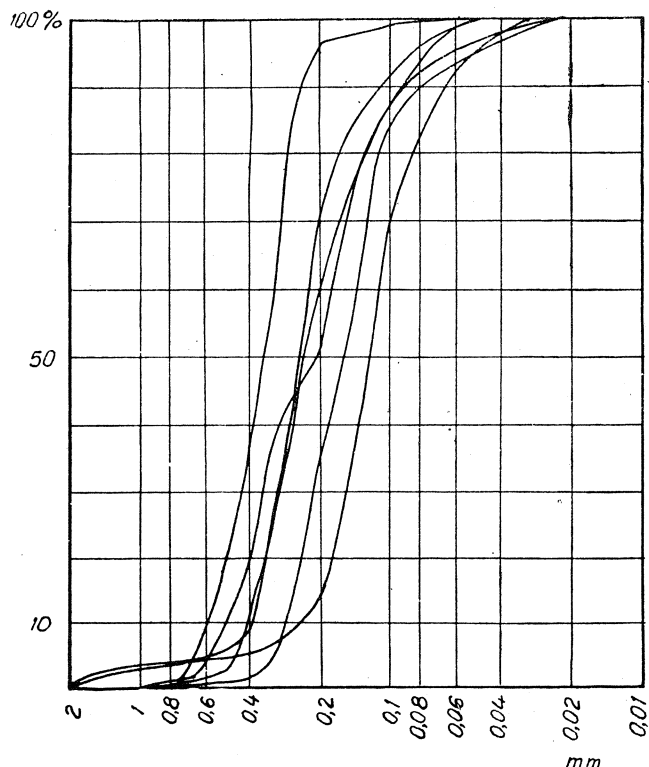


Fig. 4. Krzywe składu ziarnowego. Ławice laminowane
Fig. 4. Mechanical composition of laminated sandstones

Jak to obrazują krzywe składu ziarnowego (fig. 3 i 4), piaskowce warstw lgockich są drobnoziarniste i dobrze wysortowane. Średnie średnice ziarn (mediany) zawarte są w granicach od 0,25 mm do 0,09 mm, a współczynniki wysortowania Trask'a (1932, cytowane według Krumbaina i Slossa 1955) przybierają wartości od 1,28 do 1,53.

Różnice w składzie ziarnowym ławic warstwowych frakcjonalnie i laminowanych są wyraźne. W ławicach o uwarstwieniu frakcjonalnym średnia mediana wynosi 0,204 mm, a średni współczynnik wysortowania 1,36. Natomiast w ławicach laminowanych średnia mediana wynosi 0,125 mm, a średni współczynnik wysortowania 1,39. Ławice laminowane mają ziarno wyraźnie drobniejsze niż ławice o uwarstwieniu frakcjonalnym. Różnica stopnia wysortowania jest natomiast bez znaczenia. W ławicach o uwarstwieniu frakcjonalnym domieszka materiału o średnicy ponad 0,5 mm jest niewielka i nie przekracza 10%. Z tego względu domieszka ta nie wpływa na wartość liczbową współczynnika wysortowania, który wyrażony jest stosunkiem średnic ziarn stanowiących 25 i 75% w próbie.

Obtoczenie ziarn piaskowców lgockich jest bardzo nieznaczne. Jedynie we frakcji powyżej 0,5 mm ziarna kwarcu bywają dość dobrze obtoczone.

ZMIANY MIĄŻSZOŚCI ŁAWIC PIASKOWCOWYCH

Ogólną cechą warstw lgockich jest regularność warstwowania, charakterystyczna dla utworów osadzanych przez prądy zawieszinowe (Książkiewicz 1952, Kuennen i Carozzi 1953). Niekiedy jednak ławice piaskowcowe wykazują zmiany miąższości polegające na gwałtownym zgrubieniu ławic. Geneza takich zgrubień może być dwójaka. Najczęściej zgrubienia są wypełnieniami rynien erozyjnych wciętych w podłoże tworzącej się ławicy. Rynny takie przecinają nie tylko łupki, lecz i cienkie ławice piaskowca, a także nadcinają stropowe partie grubszych ławic piaskowcowych (tabl. XVIII 1, fig. 1).

Materiałem wypełniającym rozmycia jest średnioziarnisty piaskowiec niewyraźnie frakcjonalnie warstwowany. Niższa gruba ławica, której strop został nadcięty przez erozję, jest zbudowana z podobnego materiału, wskutek czego granice rynny erozyjnej są bardzo niewyraźne.

Płaszczyzna odsłonięcia, w którym widoczne są przekroje rozmyć erozyjnych, tworzy kąt około 20° z kierunkiem transportu materiału w profilu kamieniołomu w Kozach. Z odsłoniętych przekrojów rozmyć można wnosić, że ich prawdziwy kształt jest wąski i wydłużony, a ich szerokość jest zaledwie parę razy większa od głębokości. W górnej części ściany kamieniołomu obserwować można również rozmycie erozyjne o szerokości bardzo znacznej w porównaniu z jego głębokością. Ławica ta jest niestety niedostępna, toteż nie można jej bliżej scharakteryzować.

Opisane rozmycia mają charakter lokalny i występowanie ich ograniczone jest tylko do niektórych ławic. Występowanie ich w warstwach lgockich jest ciekawe, gdyż dotychczas rozmycia erozyjne, będące rzadkością we fliszu, wzmiankowane były (Książkiewicz 1952) z warstw istebniańskich i ciężkowickich, a więc z utworów znacznie bardziej gruboziarnistych niż warstwy lgockie.

Drugi rodzaj zgrubień ławic ma charakter odmienny. Charakterystyczną cechą jest tutaj brak erozji podłoża. Miąższość ławicy wzrasta wskutek obniżenia jej spągu przy zachowanym równym stropie. Poniżej ławicy o zmiennej miąższości występują plastyczne ugięcia podścielających ją piaskowców i łupków, przy czym te ostatnie ulegają silnemu sprasowaniu. Deformacje tego typu przedstawione są na tablicy XVIII, fig. 1 i fig. 2, oraz na fig. 5. W tym ostatnim przypadku miąższość ławicy piaskowca zmienia się raptownie z 28 cm na 40 cm. Niżej leżąca ławica piaskowca o miąższości 5 cm jest fleksuralnie ugięta ku dołowi. Ławice te oddzielone są od siebie warstwą łupku, który pod cieńszą częścią górnej ławicy piaskowcowej ma 4 cm miąższości, a pod grubszą częścią tejże ławicy tylko 1 cm miąższości. Niżej leży ławica piaskowca miąższości 14 cm, która jest odkształcona w sposób bardzo nieznaczny. Jest ona oddzielona od wyższej, pięciocentymetrowej, ławicy piaskowcowej warstwą łupku, którego miąższość zmienia się od 4 cm do 1 cm na przejściu od grubszej do cieńszej części górnej ławicy piaskowca.

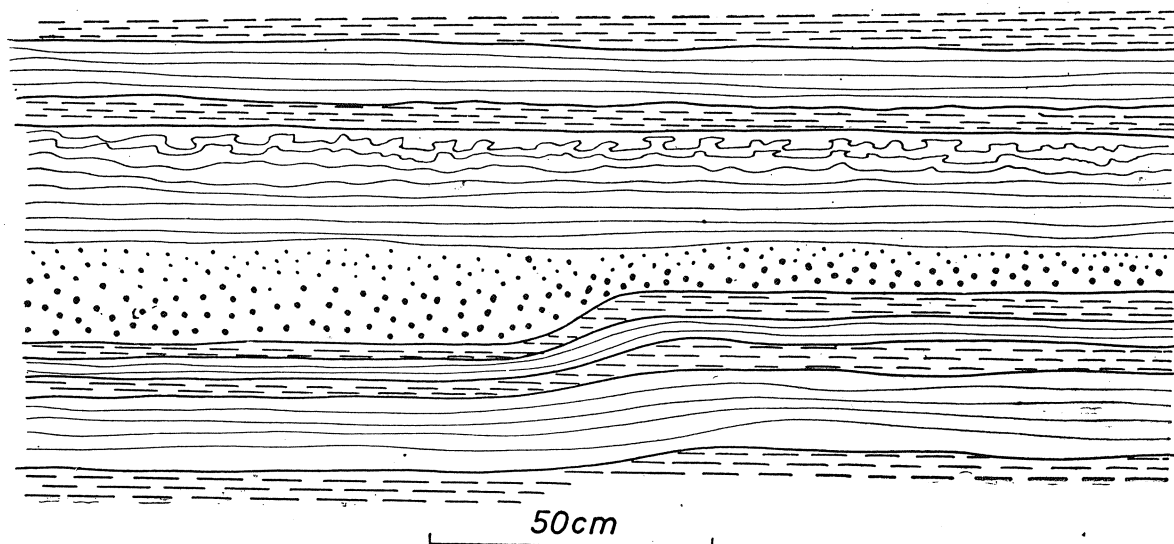


Fig. 5. Nieerozyjne zgrubienie ławicy piaskowcowej
Fig. 5. Swelling of a sandstone bed

Przedstawiony wyżej opis nieerozyjnych zgrubień ławic piaskowcowych nasuwa pewne analogie z hieroglifami obciążeniowymi (load casts w terminologii angielskiej). Ostatnio Kelling i Walton (1957) wypowiedzieli pogląd, że hieroglify obciążeniowe powstające wskutek nierównomiernego obciążenia warstwy łupku podścielającej ławicę piaskowca związane są genetycznie z erozyjnymi hieroglifami mechanicznymi. W tej interpretacji zwiększone obciążenie w zagłębieniu na przykład hieroglifu prądowego powoduje pograżanie się materiału piaszczystego w podścielającą warstwę iłu. W przypadku omawianych nieerozyjnych zgrubień ławic brak jest podstaw dla przyjmowania podobnej genezy. Zachowanie ciągłości warstw łupku przedzielających ławice piaskowcowe przy ich niewielkiej miąższości w stosunku do rozmiarów zgrubienia

piaskowca oraz fleksuralne ugięcia tych ławic przemawiają wyraźnie przeciwko erozyjnemu charakterowi opisanego przypadku zgrubienia ławicy piaskowcowej. Zgrubienie to należy tłumaczyć na drodze sedymentacyjnej, a przebieg jego powstania wyjaśnić można następująco (fig. 6): na obszarze zwiększonej miąższości ławicy prąd zawieszinowy

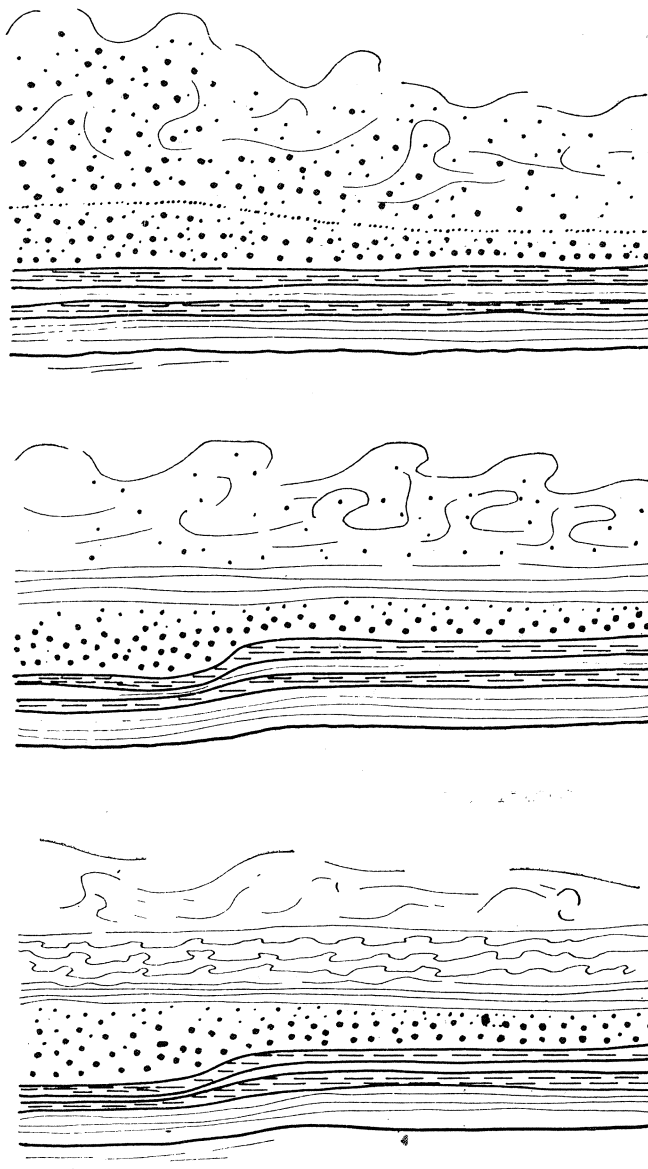


Fig. 6. Powstawanie nieerozyjnych zgrubień ławic piaskowcowych
Fig. 6. The formation of swellings of sandstone beds

musiał gwałtownie sypnąć więcej materiału, tworząc początkowo wybrzuszoną ku górze soczewkę. Pod wpływem zwiększonego w tym miejscu obciążenia soczewka ta pogrążyła się w plastyczny osad podścielający powstającą ławicę. Omawiana ławica posiada warstwowanie złożone, w dolnej części jest frakcjonowana, w górnej laminowana. W stropie ła-

wicy występuje warstwowanie konwolutive, natomiast laminacja nie wykazuje żadnych zaburzeń związanych z wciskaniem się dolnej frakcjonowanej części ławicy w podłoże. Należy więc przypuszczać, że ruch ten zakończył się przed rozpoczęciem sedymentacji laminowanej części ławicy. We wszystkich obserwowanych przypadkach ławice wykazujące nieerozyjne zgrubienia są warstwowane frakcjonalnie.

Charakter odsłonięcia nie pozwala niestety na bliższe określenie kształtu zgrubień ławic. Ściana kamieniołomu, w której odsłonięte są opisywane struktury (a także płaszczyzna rysunku na fig. 6), tworzy z kierunkiem transportu kąt około 70° . Należy stąd wnioskować, że obserwowane zgrubienia ławic są mniej więcej prostopadłe do kierunku prądu zawiesinowego. Natomiast ściana przedstawiona na tablicy XVIII, fig. 1 i fig. 2, tworzy z kierunkiem transportu materiału kąt około 20° . W tym przypadku z widocznych przekrojów wynikałoby, że zgrubienia ławic posiadają kształt nieregularny.

ŁAWICE O STRUKTURZE OSUWISKOWEJ

W środkowej części profilu warstw lgockich w kamieniołomie odsłonięta jest ławica o bardzo ciekawej strukturze (fig 7). Ławica ta, o bardzo zmiennej miąższości, dzieli się na szereg soczewek, pomiędzy którymi znajdują się duże pakiety łupkowe przeniesione wraz z materiałem budującym soczewki piaskowcowe. Soczewki te utworzone są z gruboziarnistego piaskowca zawierającego znaczną domieszkę drobnego, źle obtoczonego żwirku kwarcowo-wapiennego o średnicach ziarn dochodzących do 4 mm. Pospolicie występują też okruchy łupków o rozmiarach dochodzących do paru cm. Uwarstwienie soczewek jest nie uporządkowane. Spąg ławicy jest nierówny i nosi ślady silnej erozji.

Ku wschodowi opisywana ławica zmienia raptownie swój charakter. Miąższość jej staje się regularna, około 20 cm, i pojawia się uwarstwienie laminowane. Poszczególne laminy o grubości kilku milimetrów są uwarstwione frakcjonalnie. Laminowana część ławicy zbudowana jest ze znacznie drobniejszego materiału. Maksymalna średnica ziarn nie przekracza 1 mm, najczęściej grube ziarna mają średnice rzędu 0,5 mm.

Zachodnia część ławicy o nieregularnej miąższości jest typowym przykładem osuwiska podmorskiego. Szczególnie ciekawą jest sprawa stosunków osuwiskowej części ławicy do jej części laminowanej. Płaszczyzna odsłonięcia (a także płaszczyzna rysunku na fig. 8) tworzy z kierunkiem transportu materiału kąt około 20° , przy czym materiał transportowany był z zachodu na wschód (patrz str. 200). Wynika stąd, że osuwiskowa część ławicy leży „wyżej” w stosunku do kierunku transportu niż jej część laminowana. Mamy więc tu do czynienia z początkiem ławicy, która zaczyna się osuwiskiem, a następnie przechodzi w osad złożony przez rozpedzony już prąd zawiesinowy. Strefa osuwiskowa odsłonięta jest na szerokości około 18 m, natomiast laminowana część ławicy odsłonięta jest tylko na bardzo krótkim odcinku, co uniemożliwia prześledzenia jej zmian dalej, w kierunku ruchu prądu zawiesinowego.

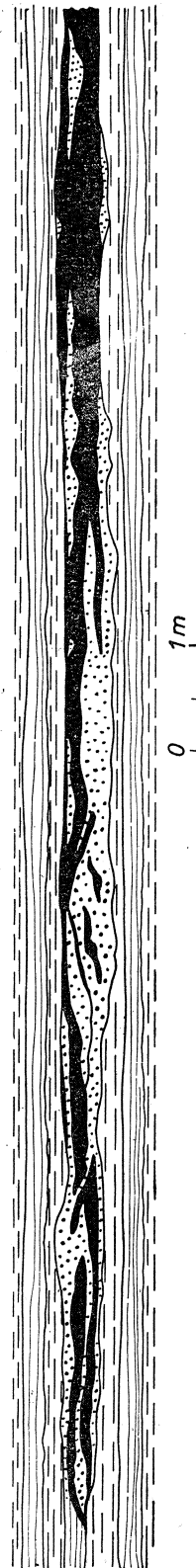


Fig. 7. Ławica osuwiskowa. Czarną barwą zaznaczone łupki redeponowane przez osuwisko
 Fig. 7. Slump-deposited bed. Shale fragments redeposited by the slump are shown in black

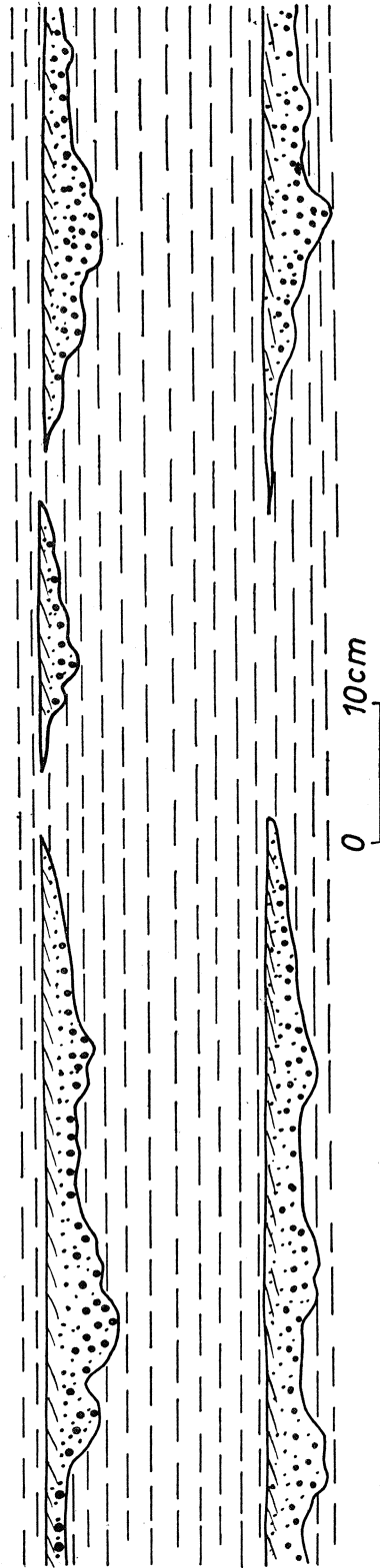


Fig. 8. Cienkie, soczewkowate ławice gruboziarnistego piaskowca
 Fig. 8. Thin lenticular beds of coarse-grained sandstone

ŁAWICE SOCZEWKOWATE

W kamieniołomie w Kozach odsłoniętych jest szereg ławic stanowiących niewielkie, szybko wyklinowujące się soczewki. Ławice te różnią się pomiędzy sobą rozmiarami i szczegółami struktury wewnętrznej. Opiszemy tutaj poszczególne typy ławic tego rodzaju.

W najniższej części profilu warstw lgockich występuje kilkanaście cienkich ławic piaskowcowych, które znacznie zmieniają swoją miąższość na bardzo krótkich odcinkach, niekiedy wyklinowując się zupełnie, by po kilkunastu lub kilkudziesięciu centymetrach pojawić się na nowo. Ławice tego typu przedstawia fig. 8. Miąższość omawianych ławic zmienia się w granicach od 1 cm do 8 cm. Powierzchnie spągowe noszą wyraźne ślady erozji łupków, które przegradzają poszczególne ławice piaskowcowe warstwami o kilkudziesięciocentymetrowej miąższości. Zgrubiałe partie ławic piaskowcowych mają bądź kształt wydłużony, bądź też mają w planie zarys nieregularny, okrągławy lub elipsowaty. Dłuższe osie wydłużonych zgrubień są równoległe do siebie i zorientowane zgodnie z ogólnym kierunkiem transportu materiału w profilu w Kozach.

Zgrubienia ławic zbudowane są z gruboziarnistego materiału i wykazują niezbyt wyraźne uwarstwienie frakcjonalne, niekiedy jednak obserwuje się w nich struktury nie uporządkowane, polegające na nieregularnym rozmieszczeniu partii wypełnionych ziarnem grubym i drobnym. W materiale budującym ławice dość często występują niewielkie okruchy łupków o rozmiarach nie przekraczających paru milimetrów. Czasem nieregularne smugi zbudowane z ziarn różniących się wielkością są wygięte łukowato ku dołowi. Stropowa część ławicy oraz najcieńsze jej partie są niewyraźnie przekątnie uwarstwione i zbudowane z bardziej drobnoziarnistego materiału.

Geneza tego typu ławic nie jest zbyt jasna. Cechami przemawiającymi za ich osuwiskowym charakterem są: soczewkowaty kształt oraz brak frakcjonowania w pewnych partiach. Z drugiej strony występująca niekiedy niewyraźna gradacja wskazuje, że osuwający się materiał bliższy już był przejścia w normalny prąd zawieszinowy.

Zgrubienia tych ławic mają także charakter złożony. Zgrubienia o kształcie wydłużonym, równoległe do siebie i zorientowane dłuższymi osiami zgodnie z kierunkiem transportu są niewątpliwie wypełnieniami rozmyć erozyjnych, zbliżonych do hieroglifów prądowych. Zgrubienia o nieregularnych zarysach powstają natomiast na drodze pogrążenia się osadu w plastyczne podłoże. Niektóre wypełnienia zagłębień erozyjnych, w których obserwuje się ugięcia nieregularnych warstewek ku dołowi, zostały zaakcentowane i powiększone w ten sam sposób. W końcowej fazie sedimentacji opisanych ławic prąd działał trakcyjnie, o czym świadczy uwarstwienie przekątne występujące w stropowych ich częściach.

Na podstawie występowania w opisywanych ławicach gruboziarnistego materiału piaszczystego oraz znacznych w porównaniu z normalną miąższością ławicy rozmiarów zgrubień erozyjnych przypuszczać można, że ruch materiału musiał być dość szybki. Zagadkowa jest natomiast niewielka miąższość ławic tego typu oraz ich soczewkowaty charakter. Nasuwa się tu przypuszczenie, że ilość transportowanego materiału była

niewielka oraz że transport odbywał się nie warstwą o znacznym rozprzestrzenieniu, lecz wąskimi, pooddzielanymi od siebie smugami. Innym prawdopodobniejszym wyjaśnieniem genezy tego typu ławic mogłoby być przypuszczenie, że transport odbywał się warstwą o znacznym rozprzestrzenieniu, przy czym miała miejsce erozja na całym obszarze, ponad którym przesunął się transportowany materiał. Natomiast sedymentacja odbywała się tylko w zagłębieniach wytworzonych przez lokalnie silniejszą erozję. W obu przedstawionych hipotezach należy przyjąć niejednorodność prądów, które utworzyły opisywane ławice.

W środkowej części profilu odsłoniętego w kamieniołomie widoczne są dwie ławice o soczewkowatym kształcie (fig. 9). Soczewka dolna ma 6 m długości, a jej największa miąższość wynosi 70 cm. Obok niej na tym samym poziomie znajdują się trzy znacznie mniejsze soczewki. Na spągu głównej soczewki widoczne są duże hieroglify prądowe o kierunku zgodnym z generalnym kierunkiem transportu w profilu kamieniołomu w Kozach. Omawiana ławica jest wyraźnie frakcjonowana w przekroju pionowym. Mniej wyraźna gradacja zaznacza się również w poziomie.

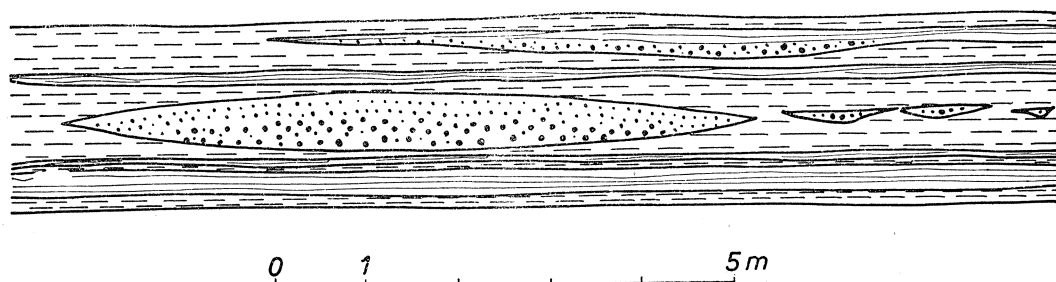


Fig. 9. Ławice soczewkowate. Widoczna gradacja ziarn w pionie i w poziomie
Fig. 9. Lenticular beds displaying horizontal and vertical gradation

Wyższa soczewka stanowi zakończenie źle odsłoniętej, niewyraźnie laminowanej cienkiej ławicy. Długość soczewki wynosi około 10 m, największa miąższość 40 cm. Na spągu jej widoczne są ślady wleczenia mające postać cienkich równoległych do siebie rys. Rysy te są analogiczne do utworów opisanych przez D ż u ł y ń s k i e g o i R a d o m s k i e g o (1955) jako ślady wleczenia ziarn piasku. Kierunek ich jest zgodny z generalnym kierunkiem transportu w profilu w Kozach. W dolnej części soczewki występuje wyraźne uwarstwienie frakcjonalne, natomiast część górna jest niewyraźnie laminowana. Również i w tej ławicy zaznacza się pozioma gradacja ziarn.

Obecność uwarstwienia frakcjonalnego dowodzi niezbicie, że omawiane ławice osadzały się z prądów zawieszinowych. Znamienne jest tutaj występowanie poziomej gradacji ziarn. Gradacja taka jest normalną cechą ławic osadzanych przez prądy zawieszinowe (K u e n e n 1951, K u e n e n i C a r o z z i 1953), aczkolwiek w ławicach o szerokim rozprzestrzenieniu jest ona zazwyczaj niedostrzegalna. W opisywanym przypadku horyzontalna gradacja wskazuje rzeczywiste sedymentacyjne granice ławicy i dowodzi, że prądy zawieszinowe, które doprowadziły do ich powstania, miały bardzo nieznaczne rozmiary.

Również w środkowej części profilu warstw lgockich występuje jeszcze jedna bardzo ciekawa ławica soczewkowata. Soczewka o długości około 4 m i największej miąższości 40 cm znajduje się w spagu grubej laminowanej ławicy (fig. 10). Soczewka jest warstwowana frakcjonalnie. W jej spagu występuje drobnoziarnisty zlepienie o średnicy ziarn 3 mm do 4 mm, a w stropie gruboziarnisty piaskowiec o średnicy ziarn 0,5 mm do 1 mm. Wyraźna gradacja występuje również w poziomie. Boczne, cienkie partie soczewki zbudowane są z przekładających się ciemnych i jasnych lamin o grubości od paru mm do 2 cm. Laminy jasne zbudowane są tu z drobnoziarnistego piaskowca o średnicy ziarn rzędu 0,2 mm, natomiast w laminach ciemnych ma miejsce znaczna koncentracja blaszkowatych okruchów łupków o rozmiarach rzędu paru mm oraz obficie występują blaszki muskowitu. Piaskowcowej soczewce towarzyszą piaszczyste, silnie mikowe łupki, różniące się znacznie od normalnych pelitycznych łupków przegradzających ławice piaskowcowe. Łupki te są niewątpliwie osadem prądu zawiesinowego i genetycznie wiążą się z omawianą soczewkowatą ławicą.

Ławica soczewkowata wcięta jest erozyjnie w podłoże. Po osadzeniu się bezpośrednio wyżej leżącej ławicy laminowanej omawiana soczewka uległa przesunięciu i została przy tym ruchu rozerwana na dwie części oddzielone od siebie piaszczystym łupkiem. Obecność łupków otulających plastyczną osłoną piaskowcową soczewkę była niewątpliwie czynnikiem ułatwiającym tego rodzaju postdepozycyjne ruchy ławicy.

Jak wskazuje pozioma gradacja ziarn, granice soczewki są sedymentacyjne, podobnie jak w poprzednio opisanym przypadku. Genezę również i tej soczewki można wytłumaczyć działaniem prądu zawiesinowego o bardzo niewielkich rozmiarach, poruszającego się wąskim „strumieniem”. Prąd ten musiał posiadać znaczny nadmiar energii, który umożliwił mu wyerodowanie dużego w porównaniu z rozmiarami soczewki zagłębienia i przecięcie niżej leżącej ławicy piaskowca.

Nasuwa się tu pytanie, czy powstanie opisanych ławic soczewkowatych związane jest z początkową, czy też z końcową fazą ruchu prądu zawiesinowego. Szereg faktów zdaje się wskazywać na to, że ławice soczewkowate zostały osadzone blisko strefy źródłowej prądów zawiesinowych. Najważniejszym argumentem popierającym taki pogląd jest opisane poprzednio osuwisko podmorskie przechodzące w ławicę zbudowaną z frakcjonowanych lamin. Osuwisko, którego przemieszczenie nie mogło być zbyt dalekie, znajduje się w bardzo niewielkiej odległości pionowej w profilu od omawianych ławic soczewkowatych. Ławice te są zbudowane ze znacznie bardziej gruboziarnistego materiału niż inne, „normalne” ławice (por. fig. 3 i 4), towarzyszą im ślady intensywnej erozji podłoża. Oba te fakty wskazują według K u e n e n a i C a r o z z i e g o (1953) na depozycję w pobliżu obszaru źródłowego prądów zawiesinowych.

UWARSTWIENIE LAMINOWANE PIASKOWCÓW

Uwarstwienie laminowane jest najpospolitszym typem struktury wewnętrznej ławic piaskowcowych warstw lgockich. Laminacja jest w tej serii dobrze widoczna, a zachodzące przy wietrzeniu zmiany zabarwienia

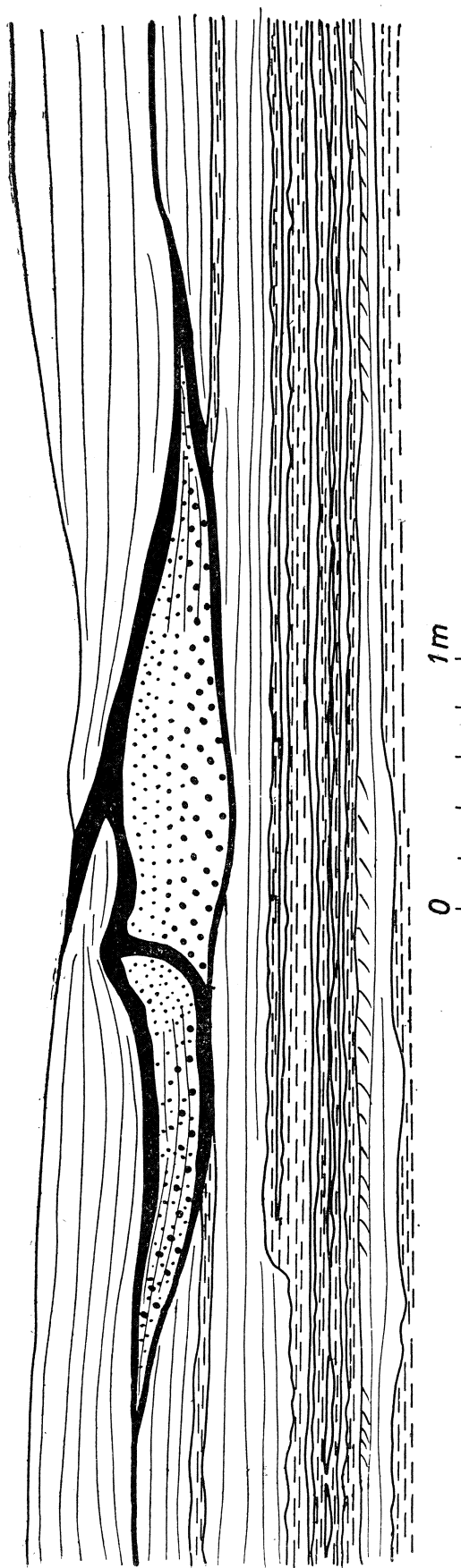


Fig. 10. Soczewka gruboziarnistego piasku wcięta erozyjnie w ławicę laminowaną. Widoczna gradacja ziarn w pionie i w poziomie. Czarną barwą zaznaczone redeponowane piaszczyste łupki mikowe
 Fig. 10. A lense of coarse grained sandstone cut in the underlying laminated bed. Sandy micaceous silts are shown in black

ławic piaskowcowych czynią ją jeszcze bardziej wyrazistą. Warstwy lgockie stanowią dzięki temu szczególnie wdzięczny materiał do badań nad genezą tego typu warstwowania.

Sprawa genezy warstwowania laminowanego była ostatnio dyskutowana przez wielu autorów. Książkiewicz (1952) przypisywał powstanie niektórych typów lamin występujących w stropie ławic frakcjonalnie uwarstwionych sedymentacji materiału niesionego przez wtórne prądy zawiesinowe o małej gęstości, posiadające znacznie mniejszą prędkość od normalnego dennego prądu zawiesinowego.

Na innym stanowisku stoi K u e n e n (1953, 1957, K u e n e n i M e n a r d 1952), który uważa, że laminacja polegająca na zmianie wielkości ziarna w laminach jest wynikiem pulsacji szybkości prądu. Natomiast laminacja wielokrotna powstaje zdaniem K u e n e n a przy trakcji po dnie, przy czym następuje lokalne sortowanie materiału. K u e n e n nie wypowiada się jednak dokładniej co do mechanizmu takiego sortowania. Dowodem trakcyjnego działania prądu, z którego osadzają się laminy, jest według K u e n e n a częsta obecność w ławicach laminowanych partii o warstwowaniu przekątnym i ripplemarków, które nie mogą powstawać przy transporcie w zawiesinie.

Warto jednak tu wspomnieć, że K u e n e n otrzymał eksperymentalnie (K u e n e n i M e n a r d 1952) chmurę zawiesinową typu postulowanego przez Książkiewicza (1952), w doświadczeniu, w którym sztuczny prąd zawiesinowy zasilany był tak słabo materiałem, że nie doszło do turbulentnego ruchu prądu. Część zawiesiny spłynęła ruchem laminarnym po dnie zbiornika, część zaś w postaci utrzymującej się ponad dnem chmury zawiesinowej przesunęła się daleko poza rejon osuwiska dennego, dając frakcjonalnie warstwowaną laminę droбноziarnistego materiału.

K o p s t e i n (1954) stwierdza, że przyczyną powstania laminacji może być pulsacja szybkości prądu lub sortowanie przy wleczeniu ziarn po dnie, zaznaczając, że w obu przypadkach chodzi o prąd zawiesinowy, który utracił już pewną część swej energii, czyli o prąd o niewielkiej szybkości.

Wreszcie t e n H a a f (1956) stwierdza, że laminacja polega najczęściej na przekładaniu się warstewek na przemian bogatych i ubogich w płatkowate minerały (muskowit i minerały ilaste, uwaga autora). Powstanie takich lamin przypisuje t e n H a a f lokalnemu sortowaniu materiału przez wiry powstające wskutek turbulencji w prądzie zawiesinowym.

Laminowane ławice piaskowców warstw lgockich zbudowane są z przekładających się warstewek jasnych i ciemnych o miąższości od ułamków milimetra do paru cm. Grube laminy są jednak stosunkowo rzadkie, najczęściej spotyka się laminy o grubości od 0,5 mm do paru mm.

Laminy z reguły nie wykazują gradacji ziarn. Różnica między laminami jasnymi i ciemnymi nie polega na wielkości ziarn materiału piaszczystego, lecz na ilości i rodzaju spoiwa. W laminach jasnych spoiwo jest wapienne i występuje w stosunkowo niewielkiej ilości, natomiast w laminach ciemnych mamy dużą ilość spoiwa zbudowanego z płatkowatych substancji ilastych oraz blaszek miki, które układają się równolegle do

laminacji (tabl. XIX, fig. 1 i 2). Wielkość płatków substancji ilastej jest proporcjonalna do wielkości ziarn kwarcu (tabl. XIX, fig. 3 i 4).

Z uwagi na kształt lamin wyróżnić można trzy typy laminacji. Typ pierwszy stanowią laminy równej grubości, równoległe do siebie i do spagu, i stropu ławicy. Laminacja taka widoczna jest w dolnej części okazów przedstawionych na tabl. XX, fig. 2 i fig. 3 oraz na tabl. XXI, fig. 4. Laminy tego typu ciągną się na znacznej nieraz przestrzeni. W jednym przypadku można było prześledzić w przekroju ławicy równoległym do kierunku transportu zespół złożony z dwóch lamin ciemnych i dzielącej je laminy jasnej na odcinku długości 25 m, przy czym ich dalszy przebieg był niedostępny obserwacji z powodu złego odsłonięcia.

W drugim typie laminacja jest nieciągła, laminy wyklinowują się po paru centymetrach długości, często są powyginane, a grubość ich jest zmienna. Laminy takie przedstawia tabl. XXI, fig. 1, fig. 2 i fig. 3. Jest to uwarstwienie laminowane faliste według nomenklatury Książkiewicza (1952). Z reguły wiąże się ono przejściami z uwarstwieniem przekątnie laminowanym, które stanowi trzeci typ laminacji.

Uwarstwienie laminowane przekątnie zostało obszernie opisane przez Książkiewicza (1947). W tym typie uwarstwienia laminy przekątne są z reguły styczne do dolnej powierzchni ograniczającej partię ławicy laminowaną przekątnie (tabl. XX, fig. 1—4). Górna część partii laminowanej przekątnie jest często zerodowana i wtedy laminy tworzą z górną granicą kąty większe (tabl. XX, fig. 1—3). Niekiedy jednak górna część partii laminowanej przekątnie jest zachowana i laminy są wtedy styczne zarówno do dolnej, jak i do górnej powierzchni ograniczającej partię przekątnie laminowaną (tabl. XX, fig. 4). Czasem laminy przekątne tworzą regularne ripplemarki widoczne na przekrojach ławic równoległych do kierunku transportu (tabl. XX, fig. 1).

Pozycja uwarstwienia przekątnego w profilu ławicy może być różna. Może ono występować w spagu ławicy (tablica XXI, fig. 4), w jej środku (tabl. XX, fig. 1, fig. 2 i fig. 3) lub w stropie (tabl. XX, fig. 4). Partia o laminacji przekątnej może spoczywać na rozmytych, niżej leżących laminach horyzontalnych (tabl. XXI, fig. 1) lub leżeć na nich bez śladów erozji (tabl. XX, fig. 2 i fig. 3). Przedstawione wyżej obserwacje zgodne są z opisem uwarstwienia przekątnie laminowanego podanego przez Książkiewicza (1947).

Cechami charakterystycznymi uwarstwienia laminowanego są: drobnoziarnisty materiał (patrz fig. 4) oraz różnice własności flotacyjnych materiału budującego laminy jasne i ciemne. Drobnoziarnistość materiału budującego ławice laminowane podkreślona była przez wielu autorów (Książkiewicz 1952, Kuenen i Carozzi 1953, Kuenen 1953, ten Haaf 1956). Cechy te wskazują, że uwarstwienie laminowane powstaje z prądów o niewielkiej gęstości (Książkiewicz 1952) lub takich, które częściowo utraciły swą energię (Kopstein 1954), oraz na zmiany warunków sedymentacji w czasie powstawania ławicy laminowanej. Depozycja materiału niesionego przez prąd zawieszinowy jest krótkotrwałym procesem, a więc wielokrotne zmiany warunków sedymentacyjnych powodujące powstawanie poszczególnych lamin muszą zachodzić bardzo szybko.

Nasuwa się przypuszczenie, że przyczyną powstawania laminacji może być niejednolita gęstość „ogona” prądu zawiesinowego, w którym następuje mieszanie się zawiesiny z otaczającą czystą wodą. Jak wiadomo z doświadczeń K u e n e n a (1951), rozcieńczający się wskutek turbulencji ogon prądu zawiesinowego ma znacznie mniejszą prędkość niż jego czoło, w którym koncentruje się materiał gruboziarnisty. Przy niewielkiej szybkości prądu wywołane turbulencją mieszanie się zawiesiny z otaczającą czystą wodą nie może być zbyt dokładne i gęstość prądu musi ulegać dość znacznym zmianom.

Z gęstszych partii prądu sedymentować będą ziarna kwarcu, natomiast blaszki muskowitu i płatki substancji ilastej, posiadające lepsze własności flotacyjne, pozostawać będą w większości w zawieszynie. W ten sposób osadzi się lamina jasna. Z partii bardziej rozcieńczonych, z których sedymentować będą również cząsteczki płatkowate, powstanie lamina ciemna. Rozcieńczone partie prądu powinny zawierać mniej piasku, który sedymentował wcześniej, tworząc jasną laminę. Istotnie w laminach ciemnych ziarna piasku tkwią dość luźno rozrzucone w substancji ilastej (tabl. XIX, fig. 1—4). Ze zmianami warunków sedymentacji wywołanymi niejednorodną gęstością prądu współdziała zapewne wpływ nasilenia turbulencji. Należy przypuszczać, że mniej gęste partie prądu, których energia ruchu turbulentnego została częściowo zużyta na rozcieńczenie zawiesiny, będą posiadały słabszą turbulencję, a więc warunki sprzyjające sedymentacji płatkowatych ziarn substancji ilastej oraz blaszek miki.

Zmiany prędkości ogona prądu zawiesinowego rejestrowane będą natomiast w inny sposób. Zależnie od szybkości prądu materiał deponowany w postaci naprzemianległych lamin jasnych i ciemnych będzie pozostawał na dnie bez ruchu — w tym przypadku powstawać będzie laminacja horyzontalna — bądź też wleczony będzie po dnie, dając uwarstwienie przekątnie laminowane. Według N e v i n a (1946) minimalna szybkość prądu transportującego ziarna piasku o średnicy 0,125 mm (jest to średnia średnica — mediana — ziarn występujących w ławicach o uwarstwieniu laminowanym) wynosi 15 cm/sek. Taką szybkość należy przyjąć dla prądów, które utworzyły soczewki o warstwowaniu przekątnie laminowanym, spoczywające bez śladów erozji na horyzontalnie laminowanym podłożu. Jeżeli partia o laminacji przekątnej spoczywa na podłożu rozmytym erozyjnie, szybkość prądu musiała być większa. Charakter górnej granicy partii laminowanej przekątnie zależy od intensywności sedymentacji równoczesnej z przemieszczaniem osadu. Przy szybkiej sedymentacji górne części lamin przekątnych nie były erodowane, lecz są zachowane w osadzie i dochodzą stycznie do górnej powierzchni partii przekątnie laminowanej. Nachylenie lamin w uwarstwieniu przekątnie laminowanym jest często niewielkie. Ostatnio doświadczenia M c K e e (1947) wykazały, że niewielkie nachylenie lamin przekątnych związane jest z drobnoziarnistością osadu i obecnością domieszki łu. Oba te czynniki musiały wpływać na powstawanie niewielkiego nachylenia lamin przekątnych w utworach fliszowych.

Powstawanie laminacji falistej związane jest zapewne z prądami o szybkości nieco mniejszej niż szybkość potrzebna do utworzenia laminacji przekątnej. Prąd będzie powodował wtedy lokalne zgrubienia i roz-

mycia lamin ciemnych. Część lamin falistych jest zapewne widoczna na przekrojach laminacji przekątnej prostopadłych do kierunku transportu.

Prędkość ogona prądu zawiesinowego, gdzie turbulencja przeważa nad ruchem postępowym, nie jest stała, lecz zmienia się zarówno w czasie, jak i w przestrzeni. Zmiany prędkości zachodzące w czasie sedymentacji zaznaczają się w postaci partii przekątnie laminowanych w jednym profilu ławicy. Zmiany szybkości prądu w przestrzeni powodują lokalne występowanie partii o przekątnej laminacji w różnych przekrojach tej samej ławicy.

Hipoteza niejednorodnej gęstości ogona prądu zawiesinowego pozostaje w sprzeczności z doświadczeniami Kuenea (1951, str. 15—16), w których obserwował on stopniowe rozrzedzanie się prądu. W tej samej pracy jednak Kuene pisze (str. 21) „The current is seen to be split into dense rolls of suspension divided by thin films of almost clean water drawn in between vortices from above”. Jest rzeczą oczywistą, że takie kłęby zawiesiny muszą rozcieńczać się w różnym stopniu i gęstości ich nie są jednakowe.

Przedstawiona wyżej hipoteza tłumaczy dobrze różnice średniej miąższości ławic o różnych typach laminacji (patrz str. 201). Z ławic o warstwowaniu laminowanym największą średnią miąższość mają ławice laminowane horyzontalnie, mniejszą ławice, w których występuje laminacja horyzontalna i przekątna, najmniejszą ławice tylko przekątnie laminowane. Różnice miąższości tych ławic spowodowane są różną szybkością prądów, które je utworzyły. Prąd przesuwany się szybciej po dnie i tworzący warstwowanie przekątnie laminowane będzie składał w każdym punkcie mniej materiału niż prąd o podobnej gęstości, lecz poruszający się wolniej.

Hipoteza ta tłumaczy również opisaną przez Książkiewicza (1952) laminację gradacyjną polegającą na tym, że laminy cienieją ku stropowi ławicy. W tym przypadku przesuwany się ogon prądu zawiesinowego, rozcieńczając się coraz bardziej, nadbudowuje tworzącą się ławicę coraz cieńszymi warstewkami.

Pozostaje do omówienia sprawa stosunku warstwowania laminowanego do frakcjonalnego. Jak podkreśla Książkiewicz (1952), te dwa typy warstwowania charakteryzują serie fliszowe różniące się warunkami akumulacji materiału detrytycznego w pobliżu wybrzeży i intensywnością redepozycji. Warstwowanie laminowane ma nadto cechować osady złożone bliżej brzegu niż serie o dominującym warstwowaniu frakcjonalnym, gdyż rozcieńczone prądy dające warstwowanie laminowane mają mniejszy zasięg niż prądy gęste produkujące osady frakcjonalne.

Dzuleński i Radomski (1955) uważają, że rozcieńczone prądy dające laminację mogą rozprzestrzeniać się szerzej niż właściwy prąd zawiesinowy, zatem osady laminowane mogą zajmować większy obszar niż złożone przez ten sam prąd zawiesinowy osady frakcjonalnie warstwowane.

W przypadku profilu warstw lgockich w Kozach mamy do czynienia z sedymentacją w pobliżu obszaru źródłowego prądów zawiesinowych (patrz str. 211). Rozszerzając wnioski dotyczące sedymentacji ławic soczewkowatych (patrz str. 209—11), należałoby sądzić, że w strefie tej osady laminowane mogą mieć szersze rozprzestrzenienie niż złożone przez

ten sam prąd osady frakcjonowane. Niektóre doświadczenia (K u e n e n i M e n a r d 1952, str. 87), wskazują również, że rozcieńczone części prądu zawiesinowego mogą mieć większe rozprzestrzenienie niż gęste czoła prądów.

Zakład Geologii UJ w Krakowie

WYKAZ LITERATURY

REFERENCES

1. D ż u ł y ń s k i St., R a d o m s k i A. (1955), Pochodzenie śladów wleczenia w świetle teorii prądów zawiesinowych (*Origin of groove casts in the light of turbidity currents hypothesis*). *Acta Geol. Pol.*, 5. Warszawa.
2. Greenmann N. W. (1951), The mechanical analysis of sediments from thin section data. *Journ. Geol.*, 59.
3. ten Haaf E. (1956), Significance of convolute lamination. *Geologie en Mijnbouw*, 18.
4. Kelling G., Walton E. K. (1957), Load cast structures, their relationship to upper surface structures and their mode of formation. *Geol. Magazine.*, 94.
5. Konior K. (1938), Zarys budowy geologicznej brzegu karpackiego w obrębie arkusza Biała-Bielsko. *Wydawnictwa Śląskie PAU*.
6. Kopstein F. P. H. W. (1954), Graded bedding of the Harlech Dome. *Publ. Geol. Inst. Groningen* No 81.
7. Krumbein W. C. Sloss L. L. (1955), *Stratigraphy and Sedimentation*. San Francisco.
8. Książkiewicz M. (1947), Przekątne uwarstwienie niektórych skał fliszowych (*Current bedding in the Carpathian Flysch*). *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 17, Kraków.
9. Książkiewicz M. (1952), Uwarstwienie frakcjonalne i laminowane we fliszu karpackim (*Graded and laminated bedding in the Carpathian Flysch*). *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 22, Kraków.
10. Kuenen Ph. H. (1951), Properties of turbidity currents of high density. *Soc. Econ. Pal. and Min. Spec. Publ.* No 2.
11. Kuenen Ph. H., Menard H. W. (1952), Turbidity currents, graded and non graded deposits. *Journ. Sed. Petr.*, 22.
12. Kuenen Ph. H. (1953), Significant features of graded bedding. *Bull. Amer. Ass. of Petrol. Geol.* 37.
13. Kuenen Ph. H., Carozzi A. (1953), Turbidity currents and sliding in geosynclinal basins of the Alps. *Journ. Geol.* 61.
14. Kuenen Ph. H. (1957), Sole markings of graded graywacke beds. *Journ. Geol.* 65.
15. Liebus A. (1902), Über einige Fossilien aus der Karpath. Kreide. Mit stratigraphischen Bemerkungen von V. Uhlig. *Beitr. z Paleont. Oest.-Ung.* 14.
16. Mc Kee E. D. (1957), Flume experiments on the production of stratification and cross-stratification. *Journ. Sed. Petr.* 27.
17. Nevin Ch. (1946), Competence of moving water to transport debris. *Bull. Soc. Geol. Am.* 57.
18. Nowak J. (1927), Zarys tektoniki Polski. Kraków.
19. Paul C. M., Tietze E. (1877), Studien in der Sandsteinzone der Karpathen. *Jahrb. d. Geol. R. A.* 27.
20. Radomski A. (1958), Charakterystyka sedymentologiczna fliszu podhalańskiego. (*The sedimentological character of the Podhale Flysch*). *Acta Geol. Pol.* 8, Warszawa.
21. Rosenfeld, Jacobsen, Ferm (1953), A comparison of sieve and thin section technique for size analysis. *Journ. Geol.* 61.
22. Trask P. D. (1932), Origin and environment of source sediments of petroleum. *Gulf. Co. Publ.* Houston, Texas.

SUMMARY

Abstract. The paper includes the sedimentological characteristic of the profile of the Lgota Beds (Aptian — Lower Albian of the Carpathians Flysch) exposed in the quarry at Kozy near Bielsko (Western Carpathians). Frequency of various types of bedding and the corresponding variations of the mean thickness of sandstone beds, as well as the mechanical composition of sandstones are discussed. Wash-outs, changes of thickness of individual beds, slump deposits, and small lenticular beds are also described. The author proposes a new hypothesis on the mechanism of formation of laminated bedding.

The Lgota Beds (Aptian — Lower Albian) are a series widely distributed in the Silesian facies of the Carpathian Flysch, composed of fine-grained black sandstones intercalating with black and greenish shales. The sandstones of the Lgota Beds displaying graded, laminated, and composite bedding were deposited by turbidity currents.

The sandstones of this series are showing a great diversity of types of bedding. The frequency of various types of bedding and the corresponding thickness of beds are presented in the Table 1, which is based on the observations of 450 sandstone beds.

Table 1

type of bedding	frequency	thickness of beds in cm		
		mean	maximal	minimal
laminated	71,0 %	12,4	65,0	0,5
composite — laminated (laminated and cross — laminated)	18,6 %	8,4	45,0	2,0
cross — laminated	2,55 %	2,4	4,0	1,0
graded	2,55 %	13,2	50,0	2,0
composite (graded, laminated, and cross — laminated)	5,3 %	21,7	60,0	7,0

Lamination is the most common type of bedding. In the composite-laminated bedding lamination combines with cross-lamination. Cross-lamination may occur in this type at the base or at the top of the bed, but sometimes the bed is composed of alternating laminated and cross-laminated layers. The relations of laminated and cross-laminated bedding in the Carpathian Flysch were described in a detailed manner by Książkiewicz (1947, 1952). The mean thickness of beds displaying composite lamination is smaller than the mean thickness of laminated beds. The exclusively cross-laminated beds are rare and very thin.

Graded beds are not frequently encountered. Simple grading is most common here, and multiple, or pen-symmetrical grading occur in rare cases (terminology for types of grading according to Książkiewicz, 1952).

Graded and laminated bedding are combining in the most common type of composite bedding. However combinations of graded, laminated,

and cross-laminated bedding are found sometimes. As a rule grading occurs here at the base of the bed.

The differences of the mean thickness of beds with various types of bedding indicate, that the mechanisms of sedimentation of turbidity currents producing various types of bedding are depositing sediments at unequal rates. A comparison of the rates of deposition of various mechanisms of sedimentation producing graded, laminated, and cross-laminated bedding is possible in one profile of a series. It can be reasonably assumed that the turbidity currents which deposited the sandstone beds in the described profile differed little in energy and amount of carried detritic material. The rates of deposition of various mechanisms of sedimentation are expressed by the mean thickness of beds displaying various types of bedding.

Thus, in the described profile of the Lgota Beds, the mechanism producing graded bedding must be considered as having the highest rate of deposition. The mechanism producing lamination is depositing sediments at a lower rate, as the mean thickness of laminated beds is inferior to the mean thickness of the graded ones. Composite bedding appears to be formed by two mechanisms of sedimentation, as the mean thickness of composite beds is markedly greater than that of laminated or graded beds¹.

The presence of cross-lamination is associated with a small thickness of beds. The mean thickness of cross-laminated beds amounts only 2.4 cm, and is the smallest of all types of bedding. Beds displaying composite lamination are thinner than the laminated ones. This fact shall be explained later.

The graded beds have a coarser grain than the laminated ones (Figs. 3 and 4). The median diameter of grains in graded sandstones is 0.204 mm, and in laminated sandstones is only 0.125 mm. Sorting is good in the both types of bedding. The sorting coefficients have the mean values 1.36 for graded, and 1.39 for laminated beds. The admixture of coarse sand grains (with diameters greater than 0.5 mm) in the graded beds do not exceed 10%. The quartz grains in the sandstones are very poorly rounded.

CHANGES OF THICKNESS OF SANDSTONE BEDS

Regularity of bedding has been stressed upon by many authors (Książkiewicz 1952, Kuenen and Carozzi 1953) as a characteristic feature of turbidites. So is in the case of the Lgota Beds, but sometimes swellings of individual beds are observed. Some of such swellings consist in filling of wash-outs, which are cutting the underlying

¹ Similar values of the mean thickness of strata displaying different types of bedding were observed by A. Radomski (1958) in the Podhale Flysch. The frequency of different types of bedding in the Podhale Flysch is also very resemblant to those of the Lgota Beds. This points out to similar conditions of sedimentation, and almost identical ratio of deposition rates of the different mechanisms of sedimentation in the turbidity currents, in the sedimentary basins of these two series.

shales and sometimes also sandstone beds (Pl. XVIII, Fig. 1). However in some cases the lower surface of the swelling sandstone bed do not show any traces of erosion. In such case the underlying shale layer is continuous and the sandstone beds are bent downward (Pl. XVIII, Figs. 1 and 2). A very peculiar case of this type of swelling is presented on Fig. 5. The lower part of the bed in question is graded, the middle part is laminated, and convolute lamination occur at the top. The lamination of the middle part of the bed is very regular. The shale layer underlying the described bed is continuous, and its thickness decreases under the swelling. In the opinion of the author this is due to differential loading and not to erosion. A suggested mode of origin of the described swelling is presented on Fig. 6. It is assumed that the turbidity current had deposited a larger amount of graded sediment on the area of the future swelling. Owing to differential loading the thicker part of the graded sand layer sank down in the underlying mud. This sinking proceeded rapidly, and the laminated part of the bed was deposited on an already even surface, as it is indicated by the regularity of lamination. The shape of the swelling was not determined because of poor exposure. The plane of the drawing on Fig. 6 is perpendicular to the direction of the turbidity current.

DEPOSITS OF SUBMARINE SLUMP

A transition between deposits of a submarine slump and a bed composed of graded laminae was observed in one case. The slump deposits are composed of a number of lenses of coarse grained sandstone, fine grained conglomerate, and large fragments of shales (Fig. 7). The lower surface is uneven and bears traces of strong erosion. The thickness of the bed is very variable, but towards the east it becomes regular. In this part the bed is composed of medium grained, laminated sandstone. The individual laminae are distinctly graded.

As the direction of transport in the profile exposed at Kozy is from the West to the East, it appears that the slump deposits are forming the upcurrent part of the bed, while the downcurrent part is laminated. The bed begins here with slump deposits and changes in a laminated deposit of a turbidity current.

LENTICULAR BEDS

Several types of lenticular sandstone beds has been observed in the profile of the Lgota Beds.

A number of thin, lenticular beds are present in the lowermost part of the profile. The beds are not continuous, and their thickness is very variable (Fig. 8). The beds are composed of coarse-grained sandstone. A not distinct grading is present sometimes, but generally the beds have a disordered structure. The top part of these beds is fine grained and display a not distinct current bedding. The origin of these beds is

not clear. It is possible that they constitute a deposit of a transition zone between a slump and a true turbidity current. The variations of thickness of the described beds and their discontinuity suggest that the transporting current was very irregular.

Another type of lenticular beds is presented on Fig. 9. The lower bed is 6 metres long and its maximal thickness amounts 70 cm. Beside the bed three quite small sandstone lenses are present. The base surface of the main bed is covered with large flow marks. The bed is composed of coarse- and medium-grained sandstone. Vertical and horizontal grading is very distinct.

The upper lense forms the end of a thin, poorly laminated bed. The base part of the bed is graded, and a not distinct lamination occur at the top. Distinct horizontal grading is seen also in this lense.

The described beds were deposited by turbidity currents as it is irrefutably proved by the presence of grading. However the most significant feature of these beds is the horizontal grading. Horizontal grading is a normal feature of beds deposited by turbidity currents (K u e n e n 1951, K u e n e n and C a r o z z i 1953), but it is rather un conspicuous in beds extending on large areas. The horizontal grading indicates the true sedimentary boundaries of the described beds. Therefore it must be concluded that the described beds were deposited by turbidity currents of small dimensions which moved linearly and not areally.

A similar coarse-grained lenticular bed is presented on Fig. 10. The lense is distinctly vertically and horizontally graded. The sides of the lense are built of alternating laminae. The light laminae are composed of fine-grained sand while the dark ones are formed of small shale particles and muscovite flakes. The sandstone lense is mantled by sandy and micaceous silts, markedly differing from the pelitic shales separating the sandstone beds. These silts were deposited by the same turbidity current which formed the sandstone lense. The lense is lying in an erosional channel cut in the underlying laminated bed. Postdepositional displacement caused the breakage of the lense in two parts. This displacement was facilitated by the presence of the plastic silt mantle.

The coarseness of the material forming the lenticular beds and pronounced erosion as in the case of the last lense indicate that the lenticular beds were deposited near the source area of the turbidity currents.

LAMINATED BEDDING OF SANDSTONES

The mode of formation of laminate bedding has been recently discussed by many authors. According to K s i ą ż k i e w i c z (1952) the laminae occurring at the top of graded beds may be produced by diluted secondary turbidity currents which are suspended above the bottom. Another opinion is held by K u e n e n (1953, 1957, K u e n e n and M e n a r d 1952) who stated that laminae displaying internal gradation are formed by pulsation of velocity of a turbidity current. Multiple lamination without grading is formed, according to K u e n e n, by sorting of the material during traction along the bottom. It must be noted

however, that K u e n e n and M e n a r d (1952) observed in one of their experiment a suspended current of the type postulated by K s i a ż k i e w i c z (1952). K o p s t e i n (1954) is following the point of view of K u e n e n, and states that lamination may be produced either by pulsation of velocity of the current, or by traction accompanied by sorting. According to t e n H a a f (1956) lamination consist in alternation of layer rich and poor in flaky particles. T e n H a a f attributes the formation of such laminae to the sorting action of vortices produced by turbulence in the turbidity current.

The laminated sandstones of the Lgota Beds are formed of alternating dark and light laminae. The difference between these two types of laminae consist in the amount and character of the matrix. The light laminae have a rather small amount of calcareous matrix, while the dark ones have an abundant matrix composed of clay and muscovite flakes. The size of clay particles is proportional to the size of sand grains (Pl. XIX). Three types of laminae can be distinguished on account of shape. The first type includes regular nad parallel laminae Pl. XX, Figs. 2 and 3, Pl. XXI, Fig. 4). The second type comprises the wavy lamination described by K s i a ż k i e w i c z (1952) (Pl. XXI, Figs. 1, 2 and 3). The wavy lamination is commonly associated with cross-lamination, which constitutes the third type.

Cross lamination in the Carpathian Flysch was described by K s i a ż k i e w i c z (1947, 1952). In the Lgota beds bottomset laminae are well developed in most cases (Pl. XX, Figs. 1, 2, 3 and 4), while topset laminae are frequently absent (Pl. XX, Figs. 1, 2 and 3). A rather rare example of well developed topset laminae is presented on Pl. XX, Fig. 4. Sometimes cross-laminated current ripples are seen on cross sections of beds (Pl. XX, fig. 1). The cross-laminated bands may occur at the base, in the middle, or at the top of a laminated bed, resting conformably or unconformably on the underlying laminae. Examples of here described cases are presented on Pl. XX and XXI.

The most characteristic features of the laminated bedding are the fine grained material — and the differences in floating properties of the components of the dark and light laminae. They indicate that laminated beds are deposited by diluted currents, or by currents that lost a part of their energy (K s i a ż k i e w i c z 1952, K o p s t e i n 1954) and that conditions of sedimentation are varying during the deposition of a laminated bed. As the deposition of the material carried by a turbidity current is a short lasting process, these variations must be very rapid.

It seems possible that the origin of the laminated bedding is due to non-uniform density of the tail of a turbidity current. It was demonstrated by K u e n e n (1951) that the tail of a turbidity current dilutes owing to turbulence and has a much smaller velocity than the nose of the current. Mixing of the suspension with the clear water cannot be accurate in a slow current, and therefore the density cannot be uniform.

In a non-uniformly dense tail of a turbidity current sand grains are settling from dense clouds of suspension, while muscovite flakes and clay particles having better flotation properties remains suspended. In this way a light lamina is formed. When a more diluted portion of

the suspension comes, sand grains are settling together with mica and clay particles producing a dark lamina. The diluted portions of the suspension are less turbulent, as a part of their energy has been used for mixing with the clear water. Weak turbulence creates favourable conditions for settling of the flaky minerals.

The changes of velocity of the tail of a turbidity current are witnessed by the occasional presence of cross-lamination. According to the velocity of the current the deposited material shall either rest on the sea floor or it shall be further transported by traction. The minimal velocity of current transporting sand grains with diameters of 0.125 mm (this is the median diameter of the grains in the laminated beds) was determined by Nevin (1946) as 15 cm/sec. If cross laminated layers are resting unconformably on the underlying laminae, the velocity of the current was somewhat greater.

The presented hypothesis does not agree with the results of the experiments of Kuennen who observed a gradual dilution of the turbidity current (1951, pp. 15—16). However in the same paper Kuennen writes (p. 21): „the current is seen to be split into dense rolls of suspension divided by thin films of almost clean water drawn in between vortices from above”. It seems that the statement, that such rolls of suspension are not uniformly diluting, but must differ in density is not based on a misconception.

The presented hypothesis can explain the differences of the mean thickness of beds with various types of bedding. In the Lgota Beds, the presence of cross-lamination in the composite-laminated bedding is associated with the decrease of the mean thickness of beds in comparison with laminated bedding. The beds displaying cross-lamination only, have the smallest mean thickness of all types of laminated bedding. These differences are due to various velocities of the currents which deposited these beds. A current swift enough to produce cross-lamination is depositing in a given section of the originating bed less material, than a slower current forming horizontal lamination.

*Geological Department
of the Jagellonian University
of Cracow*

OBJAŚNIENIA TABLIC
EXPLANATION OF PLATES

Tablica XVIII
Plate XVIII

- Fig. 1. Rozmycia erozyjne ławic piaskowcowych oraz nieerozyjne zgrubienia widoczne na ławicy z młotkiem
- Fig. 2. Nieerozyjne zgrubienia ławicy piaskowcowej. Widoczne ugięcia niżej leżących cienkich ławic piaskowcowych oraz ciągła warstwa łupku oddzielająca ławice
- Fig. 1. Wash-outs and swellings of sandstone beds
- Fig. 2. Swellings of sandstone beds. Bending of underlying thin sandstone beds and a continuous shale layer are visible

Tablica XIX
Plate XIX

- Fig. 1 — 4. Mikrofotografie lamin piaskowca z warstw lgockich. Barwy lamin są tu odwrócone. Jasne laminy skały są ciemne na fotografii, a ciemne laminy skały są jasne na fotografii. Zwraca uwagę jednakowa wielkość ziarn kwarcu (czarne) w laminach oraz różnice w ilości i jakości spoiwa w laminach jasnych i ciemnych. W laminach jasnych (w ciemnych laminach skały) spoiwo złożone głównie z płatkowatych substancji ilastych (białe). Wielkość płatków substancji ilastej (białe) jest proporcjonalna do wielkości ziarn kwarcu (czarne — fig. 3 i 4)
- Fig. 1. — 4. Microphotographies of laminae in a sandstone bed. The dark laminae on the microphotography are in reality light, and the light laminae on the microphotography are in reality dark. Note the equal size of sand grains in the dark and light laminae, and the differences of quantity and character of the matrix. The size of clay flakes (white) is proportional to the size of quartz grains (black) (Figs. 3 and 4)

Tablica XX
Plate XX

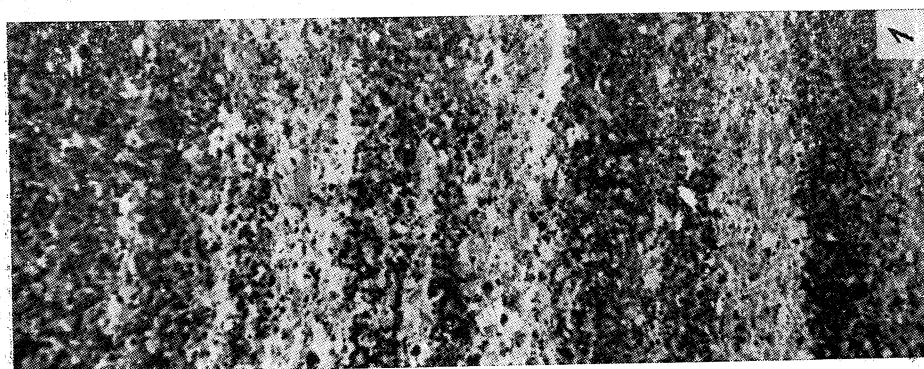
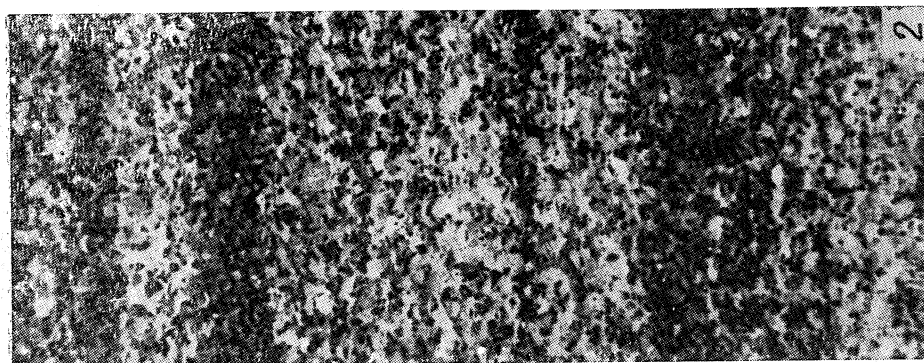
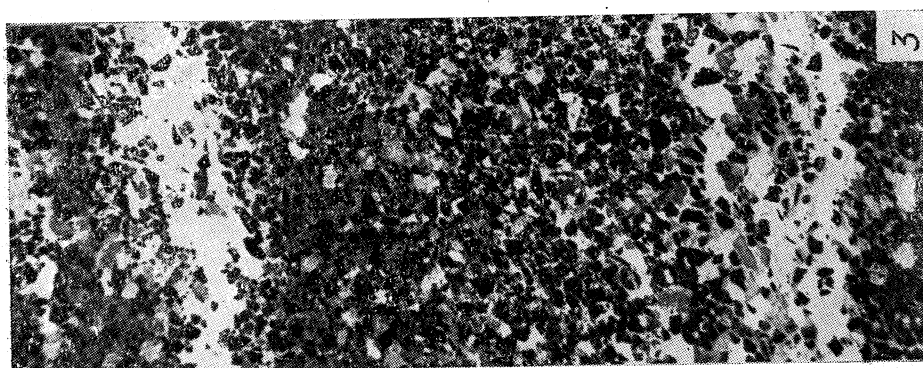
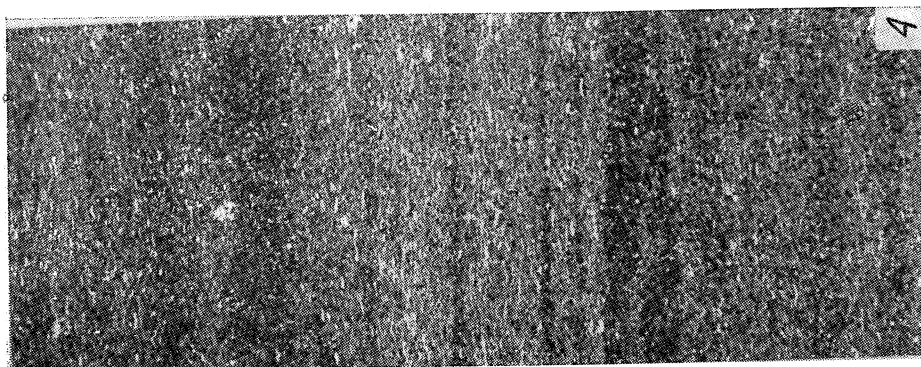
- Fig. 1. Przekątnie warstwowane ripplemarki widoczne na przekroju ławicy równoległym do kierunku transportu
- Fig. 2 i fig. 3. Okazy piaskowców z warstw lgockich o laminacji horyzontalnej i przekątnej
- Fig. 4. Okaz piaskowca z warstw lgockich laminowany przekątnie
- Fig. 1. Cross-laminated current ripples exposed on a joint plane parallel to the direction of transport
- Fig. 2 and Fig. 3. Composite lamination of sandstone beds
- Fig. 4. A cross-laminated sandstone bed

Tablica XXI
Plate XXI

- Fig. 1. Okaz laminowanego piaskowca z warstw Igockich. Soczewka laminowana przekątnie leży na rozmytych erozyjnie laminach poziomych występujących w spągu ławicy. Środek ławicy zbudowany jest z lamin falistych przechodzących niekiedy w laminację przekątną
- Fig. 2 i fig. 3. Okazy piaskowców z warstw Igockich o laminacji falistej
- Fig. 4. Okaz laminowanego piaskowca z warstw Igockich. W spągu ławicy hieroglif prądowy wypełniony materiałem o laminacji przekątnej. W stropie ławicy zaburzenia konwolutne laminacji
- Fig. 5. Okaz laminowanego piaskowca z warstw Igockich. W stropie ławicy zaburzenia spływowe laminacji
- Fig. 1. Composite lamination of a sandstone bed. Cross-lamination truncates the underlying horizontal laminae.
- Fig. 2 and Fig. 3. Wavy lamination of sandstone beds.
- Fig. 4. Convolute lamination at the top of a laminated sandstone bed
- Fig. 5. Slip bedding at the top of a laminated sandstone bed



R. Unrug



R. Unrug

